

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/010520

International filing date: 08 June 2005 (08.06.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-173890  
Filing date: 11 June 2004 (11.06.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 22 July 2005 (22.07.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2004年 6月11日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2004-173890

パリ条約による外国への出願  
に用いる優先権の主張の基礎  
となる出願の国コードと出願  
番号

J P 2004-173890

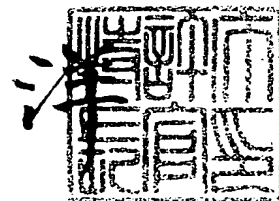
The country code and number  
of your priority application,  
to be used for filing abroad  
under the Paris Convention, is

出 願 人  
Applicant(s): 株式会社リコー

2005年 7月 6日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願  
【整理番号】 0402274  
【提出日】 平成16年 6月11日  
【あて先】 特許庁長官 今井 康夫 殿  
【国際特許分類】 H01S 3/18  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内  
    【氏名】 佐藤 俊一  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000006747  
    【氏名又は名称】 株式会社リコー  
    【代表者】 桜井 正光  
【代理人】  
    【識別番号】 100101177  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 柏木 慎史  
    【電話番号】 03(5333)4133  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100102130  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 小山 尚人  
    【電話番号】 03(5333)4133  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100072110  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 柏木 明  
    【電話番号】 03(5333)4133  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 063027  
    【納付金額】 16,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 9308802  
    【包括委任状番号】 0004335

【書類名】特許請求の範囲

【請求項1】

GaAs基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる積層構造の活性層を含んだ共振器領域と、その上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡とからなる共振器構造を有する面発光型半導体レーザにおいて、

前記反射鏡は屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分佈ブラック反射鏡を含み、

少なくともこの半導体分佈ブラック反射鏡の一部は、Al、Ga、Asを主成分として含む半導体層からなり、

前記積層構造の少なくとも1層は、Al、In、Pを主成分として含む半導体層を有し、

Al、In、Pを主成分として含む当該半導体層の上に形成されるAl、Ga、Asを主成分として含む前記半導体層とAl、In、Pを主成分として含む前記半導体層との界面を電界強度分佈の節の位置としたことを特徴とする面発光型半導体レーザ。

【請求項2】

Al、In、Pを主成分として含む前記半導体層は、 $(Al_a Ga_{1-a})_b In_{1-b} P$  ( $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ )であることを特徴とする請求項1記載の面発光型半導体レーザ。

【請求項3】

GaAs基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層を含んだ共振器領域と、その上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡とからなる共振器構造を有する面発光型半導体レーザにおいて、

前記反射鏡は屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分佈ブラック反射鏡を含み、

少なくともこの半導体分佈ブラック反射鏡の一部は、 $Al_x Ga_{1-x} As$  ( $0 < x \leq 1$ )による低屈折率層と $Al_y Ga_{1-y} As$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ )による高屈折率層とからなり、

前記共振器領域と前記反射鏡との界面を電界強度分佈の腹の位置とし、

前記上部反射鏡を構成する前記低屈折率層のうちで少なくとも前記活性層に最も近い低屈折率層は、 $(Al_a Ga_{1-a})_b In_{1-b} P$  ( $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ )からなることを特徴とする面発光型半導体レーザ。

【請求項4】

前記活性層と前記反射鏡との間にあたるスペーサ層の一部は、前記 $AlGaInP$ 低屈折率層よりバンドギャップが小さい $(Al_a Ga_{1-a})_b In_{1-b} P$  ( $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ )からなり、

前記量子井戸活性層は、 $Ga_c In_{1-c} P_d As_{1-d}$  ( $0 \leq c \leq 1$ 、 $0 \leq d \leq 1$ )からなり、かつ、圧縮歪を有し、

前記障壁層は、 $Ga_e In_{1-e} P_f As_{1-f}$  ( $0 \leq e \leq 1$ 、 $0 \leq f \leq 1$ )からなることを特徴とする請求項3記載の面発光型半導体レーザ。

【請求項5】

前記障壁層は、引っ張り歪を有することを特徴とする請求項4記載の面発光型半導体レーザ。

【請求項6】

被成長基板の面方位は、(111)A面方向に $5^\circ$ から $20^\circ$ の範囲内で傾斜した(100)面であることを特徴とする請求項1ないし5の何れか一記載の面発光型半導体レーザ。

【請求項7】

光出射方向から見た活性層の外周形状は、(111)A面方向に長い形状となる形状異方性を有していることを特徴とする請求項6記載の面発光型半導体レーザ。

【請求項8】

前記共振器構造による発振波長がおよそ680nmより長波長であることを特徴とする請求項4ないし7の何れか一記載の面発光型半導体レーザ。

【請求項9】

請求項4ないし8の何れか一記載の面発光型半導体レーザが同一基板上に複数個配列させて搭載されていることを特徴とする面発光型半導体レーザアレイ。

【請求項10】

請求項4ないし8の何れか一記載の面発光型半導体レーザ又は請求項9記載の面発光型半導体レーザアレイを書き込み光源として備えることを特徴とする画像形成装置。

【請求項11】

請求項4ないし8の何れか一記載の面発光型半導体レーザ又は請求項9記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として備えることを特徴とする光ピックアップ。

【請求項12】

請求項4ないし8の何れか一記載の面発光型半導体レーザ又は請求項9記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として備えることを特徴とする光送信モジュール。

【請求項13】

請求項4ないし8の何れか一記載の面発光型半導体レーザ又は請求項9記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として備える光送受信モジュール。

【請求項14】

請求項4ないし8の何れか一記載の面発光型半導体レーザ又は請求項9記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として備えることを特徴とする光通信システム。

【書類名】明細書

【発明の名称】面発光型半導体レーザ、面発光型半導体レーザアレイ、画像形成装置、光ピックアップ、光送信モジュール、光受信モジュール及び光通信システム

【技術分野】

【0001】

本発明は、面発光型半導体レーザ、面発光型半導体レーザアレイ、画像形成装置、光ピックアップ、光送信モジュール、光受信モジュール及び光通信システムに関する。

【背景技術】

【0002】

面発光型半導体レーザ（VCSEL）は、基板に対して垂直方向に光を出射する半導体レーザであり、端面型半導体レーザに比べて低コストで高性能が得られることから、光インタコネクションなどの光通信の光源、光ピックアップ用の光源、レーザプリンタ等の画像形成装置の光源など民生用途で用いられている。

【0003】

このような面発光型半導体レーザには、活性層の利得が大きく低閾値・高出力であって、信頼性に優れ、偏光方向が制御された面発光型半導体レーザが必要となる。

【0004】

ここに、850nm帯、980nm帯は活性層へのキャリア閉じ込めが良好である。具体的に850nm帯では量子井戸活性層にGaAs、障壁層やスペーサ層（クラッド層）にはAlGaAsが用いられている。さらに、高性能なAlGaAs系反射鏡（DBR）と、Al酸化膜を利用した電流狭窄構造を採用できるので、実用レベルの性能を実現している。偏光方向制御については、光出射方向から見た活性層の外周形状に異方性を持たせる方法など、多数が提案されている。中でも、非特許文献1に示されるように（311）B基板、つまり（100）から（111）B面方向に25°傾斜（off）した基板を用いることで傾斜した方向の光学的利得が大きくなり、偏光方向制御が実現できているため、この方法が有力視されている。（311）A基板も同様な効果がある。しかし、大きく傾斜した（311）B基板上への結晶成長も（100）基板上への結晶成長に比べて難しくなるが、（311）A基板上への結晶成長はさらに困難であるといった欠点がある。ただし、何れの場合も、基板が大きく傾斜しているので基板の価格が2倍以上することや、へき開しにくくて扱いにくいなどのデメリットがある。

【0005】

一方、850nmより短波長帯では量子井戸活性層にAlを添加してバンドギャップを大きくして実現している。780nm帯ではAl組成12%程度添加されている。しかし、障壁層やスペーサ層とのバンド不連続が小さくなってしまうので活性層へのキャリア閉じ込めが弱くなってしまうために、850nm帯に比べて、特に温度特性において良好な特性を得るのが困難であるといった問題点がある。また、活性層に活性なAlが添加されているので成長中や加工中等に酸素が取り込まれてしまい、非発光再結合センタを形成し、発光効率や信頼性の低下を招いてしまう。

【0006】

850nmより短波長帯の面発光型半導体レーザで非発光再結合センタの形成を抑える目的で、Alフリー活性領域（量子井戸活性層、及びそれに隣接する層）を採用する780nm帯面発光型半導体レーザの提案（特許文献1参照）がある。具体的には、量子井戸活性層に引っ張り歪を有するGaAsP、障壁層に圧縮歪を有するGaInP、スペーサ層（クラッド層と、第1及び第3量子井戸活性層との間の層）に格子整合GaInP、クラッド層にAlGaInPが用いられている。これによれば、活性領域がAlフリーなので信頼性が改善される。

【0007】

さらに、非特許文献2によれば、このような活性領域Alフリーによる効果に加えて、活性層の利得を大きくするために、量子井戸活性層に圧縮歪を有するGaInPAs、障壁層に格子整合又は引っ張り歪を有するGaInP、スペーサ層（クラッド層と、第1及

び第3量子井戸活性層との間の層)に格子整合AlGaInP、クラッド層にAlGaInP(スペーサ層よりAl組成大)が用いられた780nm帯の面発光型半導体レーザが提案されている。特許文献1の構造に比べて、障壁層が格子整合であり、圧縮歪組成よりバンドギャップが大きいので、キャリア閉じ込めが良好になっている。

【0008】

【特許文献1】特開平9-107153号公報

【非特許文献1】IEEE Photonics Technology Letters, Vol.10, No.12, 1998(東工大)

【非特許文献2】IEEE Photonics Technology Letters, Vol.12, No.6, 2000(Wisconsin Univ.)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、非特許文献2に記載されているように、上下の反射鏡で挟まれた共振器領域を形成する材料として、(Al)GaInP系材料を用いた場合、共振器領域とAlGaAs系材料とで構成された上部反射鏡との界面ではAlGaAs層へのInのキャリアオーバーなど、Inの分離(segregation)の影響が生じ、閾値電流の大幅増加が生じてしまう不都合がある。

【0010】

本発明の目的は、GaAs基板上にAl、In、Pを主成分として含む半導体層が少なくとも1層設けられている面発光型半導体レーザにおいて、Inの分離の影響による閾値電流増加を抑制できる面発光型半導体レーザを提供することである。

【0011】

さらなる目的は、850nmより波長の短い面発光型半導体レーザに関して、活性層の利得が大きく低閾値・高出力である面発光型半導体レーザ、信頼性に優れている面発光型半導体レーザ、偏光方向が制御されている面発光型半導体レーザを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

請求項1記載の発明は、GaAs基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる積層構造の活性層を含んだ共振器領域と、その上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡とからなる共振器構造を有する面発光型半導体レーザにおいて、前記反射鏡は屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分佈ブラック反射鏡を含み、少なくともこの半導体分佈ブラック反射鏡の一部は、Al、Ga、Asを主成分として含む半導体層からなり、前記積層構造の少なくとも1層は、Al、In、Pを主成分として含む半導体層を有し、Al、In、Pを主成分として含む当該半導体層の上に形成されるAl、Ga、Asを主成分として含む前記半導体層とAl、In、Pを主成分として含む前記半導体層との界面を電界強度分佈の節の位置とした。

【0013】

請求項2記載の発明は、請求項1記載の面発光型半導体レーザにおいて、Al、In、Pを主成分として含む前記半導体層は、 $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$  ( $0 < a \leq 1$ ,  $0 \leq b \leq 1$ )である。

【0014】

請求項3記載の発明は、GaAs基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層を含んだ共振器領域と、その上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡とからなる共振器構造を有する面発光型半導体レーザにおいて、前記反射鏡は屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分佈ブラック反射鏡を含み、少なくともこの半導体分佈ブラック反射鏡の一部は、 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 < x \leq 1$ )による低屈折率層と $Al_yGa_{1-y}As$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ )による高屈折率層とからなり、前記共振器領域と前記反射鏡との界面を電界強度分佈の腹の

位置とし、前記上部反射鏡を構成する前記低屈折率層のうちで少なくとも前記活性層に最も近い低屈折率層は、 $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$  ( $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ ) からなる。

【0015】

請求項4記載の発明は、請求項3記載の面発光型半導体レーザにおいて、前記活性層と前記反射鏡との間にあたるスペーサ層の一部は、前記 $AlGaInP$ 低屈折率層よりバンドギャップが小さい $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$  ( $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ ) からなり、前記量子井戸活性層は、 $Ga_cIn_{1-c}P_dAs_{1-d}$  ( $0 \leq c \leq 1$ 、 $0 \leq d \leq 1$ ) からなり、かつ、圧縮歪を有し、前記障壁層は、 $Ga_eIn_{1-e}P_fAs_{1-f}$  ( $0 \leq e \leq 1$ 、 $0 \leq f \leq 1$ ) からなる。

【0016】

請求項5記載の発明は、請求項4記載の面発光型半導体レーザにおいて、前記障壁層は、引っ張り歪を有する。

【0017】

請求項6記載の発明は、請求項1ないし5の何れか一記載の面発光型半導体レーザにおいて、被成長基板の面方位は、 $(111)$  A面方向に $5^\circ$  から $20^\circ$  の範囲内で傾斜した $(100)$  面である。

【0018】

請求項7記載の発明は、請求項6記載の面発光型半導体レーザにおいて、光出射方向から見た活性層の外周形状は、 $(111)$  A面方向に長い形状となる形状異方性を有している。

【0019】

請求項8記載の発明は、請求項4ないし7の何れか一記載の面発光型半導体レーザにおいて、前記共振器構造による発振波長がおよそ $680\text{ nm}$ より長波長である。

【0020】

請求項9記載の発明の面発光型半導体レーザアレイは、請求項4ないし8の何れか一記載の面発光型半導体レーザが同一基板上に複数個配列させて搭載されている。

【0021】

請求項10記載の発明の画像形成装置は、請求項4ないし8の何れか一記載の面発光型半導体レーザ又は請求項9記載の面発光型半導体レーザアレイを書き込み光源として備える。

【0022】

請求項11記載の発明の光ピックアップは、請求項4ないし8の何れか一記載の面発光型半導体レーザ又は請求項9記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として備える。

【0023】

請求項12記載の発明の光送信モジュールは、請求項4ないし8の何れか一記載の面発光型半導体レーザ又は請求項9記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として備える。

【0024】

請求項13記載の発明の光送受信モジュールは、請求項4ないし8の何れか一記載の面発光型半導体レーザ又は請求項9記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として備える。

【0025】

請求項14記載の発明の光通信システムは、請求項4ないし8の何れか一記載の面発光型半導体レーザ又は請求項9記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として備える。

【発明の効果】

【0026】

請求項1ないし3記載の発明によれば、 $Al$ 、 $In$ 、 $P$ を主成分として含む半導体層と $Al$ 、 $Ga$ 、 $As$ を主成分として含む半導体層との界面を電界強度分布の節の位置とすることによって、 $Al$ 、 $In$ 、 $P$ を主成分として含む半導体層の上に $Al$ 、 $Ga$ 、 $As$ を主成分として含む半導体層を結晶成長したときに、 $In$ の分離がある程度生じていても界面における光学的吸収の影響を大幅に低減させることができ、よって、閾値増加への悪影響



を大幅に抑えることが容易に実現できる。

【0027】

請求項4記載の発明によれば、 $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$  ( $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ ) スペーサ層を用いることで、スペーサ層をAlGaAs系で形成した場合に比べて、スペーサ層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差を極めて大きく取ることができる。また、量子井戸活性層を圧縮歪組成としており、歪の効果により低閾値化するとともに高効率化（高出力化）することができ、さらには、キャリア閉じ込め向上、歪量子井戸活性層による高利得化によって低閾値化することで、光取り出し側DBRの反射率低減が可能となり、さらに高出力化を実現できる。また、量子井戸活性層は $Ga_cIn_{1-c}P_dAs_{1-d}$  ( $0 \leq c \leq 1$ 、 $0 \leq d \leq 1$ )、障壁層は $Ga_eIn_{1-e}P_fAs_{1-f}$  ( $0 \leq e \leq 1$ 、 $0 \leq f \leq 1$ ) であり、Alを含んでいない材料から活性層が構成されており、Alフリー活性領域（量子井戸活性層、及びそれに隣接する層）としているので、酸素の取り込みを低減でき、非発光再結合センタの形成を抑制して、長寿命の面発光型半導体レーザを実現することができる。即ち、活性層の利得が大きく低閾値・高出力であって、信頼性に優れた850nmより波長の短い面発光型半導体レーザを容易に実現することができる。

【0028】

請求項5記載の発明によれば、GaInPAs系材料において、障壁層となる半導体材料は格子定数が小さい材料の方が大きなバンドギャップを取れるので、量子井戸活性層とのバンド不連続を大きくすることができ、利得が大きくなるので、低閾値動作、高出力動作を可能にすることができる。

【0029】

請求項6記載の発明によれば、基板の面方位を考慮し、面方位が(111)A面方向に $5^\circ$ から $20^\circ$ の範囲内で傾斜した(100)GaAs基板を用いるようにしたので、自然超格子の形成によるバンドギャップの低下や、ヒロック（丘状欠陥）発生による表面性の悪化や非発光再結合センタの発生が生ずることによる半導体レーザなどのデバイス特性への悪影響を低減させることができる。さらには、異方性基板であり偏光制御に効果がある。即ち、現在、最有力視されている(311)B基板を用いた場合の効果を利用することができず、傾斜基板利用による光学利得異方性は小さくなるが、この低下分を量子井戸活性層に圧縮歪を与えることによる光学利得異方性の増大により補償することで偏光方向の制御性を向上させることができる。

【0030】

請求項7記載の発明によれば、さらに、面発光型半導体レーザの光出射方向から見た活性層の外周形状に異方性を持たせ、(111)A面方向に長い形状としたので、基板傾斜方向（(111)A面方向）の光学的利得増大の効果を加えることで、偏光方向の制御性をさらに改善することができる。

【0031】

請求項8記載の発明によれば、AlGaInP系スペーサ層を用いることで、組成波長が680nmより長波長であれば、Alフリー活性層（量子井戸活性層と障壁層）を用いても、AlGaAs系活性層による780nm面発光型半導体レーザの場合と同等以上のキャリア閉じ込めが可能となる上に、歪量子井戸活性層の効果も加わることから、同等以上の特性を得ることができる。

【0032】

請求項9記載の発明によれば、閾値上昇が抑えられた、高出力動作可能な面発光型半導体レーザを同一基板上に多数集積することで、例えば、書き込み光学系の光源に応用した場合、同時にマルチビームでの書き込みが容易となり、書き込み速度が格段に向上し、書き込みドット密度が上昇しても印刷速度を落とすことなく印刷できる。また、同じ書き込みドット密度の場合であれば印刷速度を速くすることができる。また、光通信に応用した場合、同時に多数ビームによるデータ伝送が可能となるので高速通信ができる。さらに、面発光型半導体レーザは低消費電力で動作するので、特に機器の中に組み込んで利用した場合、温度上昇を低減させることもできる。

### 【0033】

請求項10記載の発明によれば、光源を、閾値上昇が抑えられてしかも高出力化できることから、従来の面発光型半導体レーザーを用いたレーザープリンタ等の画像形成装置に比べて高速印刷を可能にすることができる。若しくは、従来と同速度の場合であればアレイ数の低減が可能となり、面発光型半導体レーザーチップの製造歩留まりが大きく向上するとともに、画像形成装置の低コスト化を図ることができる。さらに、Alフリー活性層により、850nm帯面発光型半導体レーザーのような通信用面発光型半導体レーザーと同等の寿命が達成可能となることから、光書き込み光学ユニット自体の再利用が可能となり、環境負荷の低減に貢献することもできる。

### 【0034】

請求項11記載の発明によれば、光記録媒体への光書き込み、再生用光源である半導体レーザーの波長はCDでは780nmが用いられており、面発光型半導体レーザーは端面型半導体レーザーに比べて1桁程度消費電力が小さいことから、本発明の780nmの面発光型半導体レーザーを再生用光源とした電力が長持ちするハンディタイプの光ピックアップシステムを実現できる。

### 【0035】

請求項12記載の発明によれば、容易に低閾値化可能であって、さらに活性層利得が高いために高出力であるとともに高温特性にも優れており、安い光源である面発光型半導体レーザー、安い光ファイバであるPOFを用いた経済的で高速な光送信モジュールを実現できる。

### 【0036】

請求項13記載の発明によれば、容易に低閾値化可能であって、さらに活性層利得が高いために高出力であるとともに高温特性にも優れており、安い光源である面発光型半導体レーザー、安い光ファイバであるPOFを用いた経済的で高速な光送受信モジュールを実現できる。

### 【0037】

請求項14記載の発明によれば、容易に低閾値化可能であって、さらに活性層利得が高いために高出力であるとともに高温特性にも優れており、安い光源である面発光型半導体レーザー、安い光ファイバであるPOFを用いた経済的で高速な光通信システムを実現できる。よって、極めて経済的であることから、特に、一般家庭やオフィスの室内、機器内などの光通信システムに用いることが効果的である。

【発明を実施するための最良の形態】

### 【0038】

本発明を実施するための最良の形態について図面を参照して説明する。

### 【0039】

#### 【第一の実施の形態】

本発明の第一の実施の形態を図1及び図2に基づいて説明する。本実施の形態は、本発明の面発光型半導体レーザーの原理的構成例及びその動作例に関するものである。

### 【0040】

#### (1) 第一の構成例

まず、本実施の形態の面発光型半導体レーザーは、第一の構成例として、GaAs基板上に、レーザー光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる積層構造の活性層を含んだ共振器領域と、その上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡とからなる共振器構造を有する面発光型半導体レーザーにおいて、前記反射鏡は屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡を含み、少なくともこの半導体分布ブラッグ反射鏡の一部は、Al、Ga、Asを主成分として含む半導体層からなり、前記積層構造の少なくとも1層は、Al、In、Pを主成分として含む半導体層を有し、Al、In、Pを主成分として含む当該半導体層の上に形成されるAl、Ga、Asを主成分として含む前記半導体層とAl、In、Pを主成分として含む前記半導体層との界面を電界強度分布の節の位置とする構成とされている。この際、Al、I

n、Pを主成分として含む前記半導体層は、 $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$  ( $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ )とされている。

#### 【0041】

従来は、共振器領域と反射鏡の界面が電界強度分布の腹の位置となる構成であって、かつ、共振器領域の最上部にAl、In、Pを主成分として含む半導体層が設けられている。従って、Al、Ga、Asを主成分として含む半導体層からなる上部反射鏡との界面は腹の位置であり、光学的吸収の影響が大きい場所であった。ところが、Al、In、Pを主成分として含む半導体層上にAl、Ga、Asを主成分として含む半導体層を結晶成長する場合、InのキャリアオーバーなどInの分離が生じやすく、これを抑える必要があるが、閾値上昇を避けるのは困難であった。なお、この問題は、Al、In、Pを主成分として含む半導体層上にAl、Ga、Asを主成分として含む半導体層を結晶成長する場合に顕著である。

#### 【0042】

この点、本実施の形態の第一の構成例の面発光型半導体レーザにおいては、図1に示すように、Al、In、Pを主成分として含む半導体層1とAl、Ga、Asを主成分として含む半導体層（上部反射鏡の一部）2との界面3を電界強度分布の節の位置とすることで、界面3における光学的吸収の影響が大幅に低減するように設計してあるので、Inの分離がある程度生じていても、閾値増加への悪影響を大幅に抑えることができる。

#### 【0043】

ここに、Al、In、Pを主成分として含む半導体層1としては、 $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$  ( $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ )なる構成例が挙げられる。AlGaInP層を用いることが必須となる650nm帯などの赤色面発光型半導体レーザはもちろんのこと、780nm帯、850nm帯など、波長に関係なくAlGaInP層を用いた面発光型半導体レーザにおいて低閾値化の効果が得られる。

#### 【0044】

##### (2) 第二の構成例

本実施の形態の面発光型半導体レーザは、第二の構成例として、GaAs基板上に、レーザ光を発生する少なくとも1層の量子井戸活性層と障壁層とからなる活性層を含んだ共振器領域と、その上部及び下部に設けられた上部反射鏡及び下部反射鏡とからなる共振器構造を有する面発光型半導体レーザにおいて、前記反射鏡は屈折率が周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡を含み、少なくともこの半導体分布ブラッグ反射鏡の一部は、 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 < x \leq 1$ )による低屈折率層と $Al_yGa_{1-y}As$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ )による高屈折率層とからなり、前記共振器領域と前記反射鏡との界面を電界強度分布の腹の位置とし、前記上部反射鏡を構成する前記低屈折率層のうちで少なくとも前記活性層に最も近い低屈折率層は、 $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$  ( $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ )からなる構成とされている。

#### 【0045】

図2に当該第二の構成例の一例を示す。従来一般的である共振器領域4と上部反射鏡5との界面6が電界強度分布の腹の位置となる構成とした場合、上部反射鏡5を構成する最も活性層7に近い低屈折率層（ $\lambda/4$ の厚さ）8を $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$  ( $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ )とすることで、 $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$  ( $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ )層8上にAl、Ga、Asを主成分として含む半導体層（上部反射鏡5）を結晶成長する場合の界面9を電界強度分布の節の位置とすることができるので、界面9における光学的吸収の影響が大幅に低減し、Inの分離がある程度生じていても、閾値増加への悪影響を大幅に抑えることができる。なお、10は下部反射鏡（一部）である。

#### 【0046】

##### (3) 第三の構成例

本実施の形態の面発光型半導体レーザは、第三の構成例として、第二の構成例において、前記活性層と前記反射鏡との間にあたるスペーサ層の一部は、前記AlGaInP低屈折率層よりバンドギャップが小さい $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$  ( $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq$

$b \leq 1$ ) からなり、前記量子井戸活性層は、 $\text{Ga}_c\text{In}_{1-c}\text{PdAs}_{1-d}$  ( $0 \leq c \leq 1$ 、 $0 \leq d \leq 1$ ) からなり、かつ、圧縮歪を有し、前記障壁層は  $\text{Ga}_e\text{In}_{1-e}\text{P}_f\text{As}_{1-f}$  ( $0 \leq e \leq 1$ 、 $0 \leq f \leq 1$ ) からなる構成とされている。即ち、上部反射鏡を構成する低屈折率層のうちで少なくとも活性層に最も近い低屈折率層を  $\text{AlGaInP}$  とし、障壁層や量子井戸活性層には  $\text{GaInPAs}$  系材料を用いている。

【0047】

ワイドバンドギャップである  $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_b\text{In}_{1-b}\text{P}$  ( $0 < a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ ) 低屈折率層をキャリア閉じ込めのクラッド層とすることができる。キャリア閉じ込めのクラッド層を  $\text{AlGaAs}$  系で形成した場合に比べて、クラッド層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差を極めて大きく取ることができる。

【0048】

表1に  $\text{AlGaAs}$  (スペーサ層) /  $\text{AlGaAs}$  (量子井戸活性層) 系 780 nm、850 nm 面発光型半導体レーザ、さらに  $\text{AlGaInP}$  (スペーサ層) /  $\text{GaInPAs}$  (量子井戸活性層) 系 780 nm 面発光型半導体レーザの典型的な材料組成でのスペーサ層と井戸層、及び障壁層と井戸層とのバンドギャップ差を示す。なお、スペーサ層とは通常構成の場合には活性層と反射鏡の間にあたる層のことであって、キャリアを閉じ込めるためのクラッド層としての機能を有している層を指している。第三の構成例の場合では  $\text{AlGaInP}$  低屈折率層を指す。

【0049】

【表1】

波長	780nm		850nm(Ref.)
	スペーサ層/量子井戸活性層 AlGaAs/AlGaAs系材料	AlGaInP/GaInPAs系材料	AlGaAs/GaAs系材料
スペーサ層	Al <sub>0.6</sub> Ga <sub>0.3</sub> As (E <sub>g</sub> =2.0226eV)	(Al <sub>x</sub> Ga <sub>1-x</sub> ) <sub>0.51</sub> In <sub>0.5</sub> P (E <sub>g</sub> (x=0, 7)=2.289eV)	Al <sub>0.6</sub> Ga <sub>0.4</sub> As (E <sub>g</sub> =2.0226eV)
量子井戸活性層	Al <sub>0.12</sub> Ga <sub>0.88</sub> As (E <sub>g</sub> =1.5567eV)	GaInPAs (圧縮歪) (E <sub>g</sub> =1.5567eV)	GaAs (E <sub>g</sub> =1.42eV)
	Al <sub>0.3</sub> Ga <sub>0.7</sub> As (E <sub>g</sub> =1.7755eV)	Ga <sub>x</sub> In <sub>1-x</sub> P (引ひ張り歪) (E <sub>g</sub> (x=0, 6)=2.02eV)	Al <sub>0.3</sub> Ga <sub>0.7</sub> As (E <sub>g</sub> =1.7755eV)
スペーサ層と井戸層のE <sub>g</sub> 差 (ΔE <sub>g</sub> )	465.9meV	743.3meV	602.6meV
障壁層と井戸層のE <sub>g</sub> 差 (ΔE <sub>g</sub> )	218.8meV	463.3meV	355.5meV

【0050】

表1に示すように、AlGaInP（スペーサ層）／GaInPAs（量子井戸活性層）系780nm面発光型半導体レーザによれば、AlGaAs／AlGaAs系780nm面発光型半導体レーザはもとより、AlGaAs／AlGaAs系850nm面発光型半導体レーザよりもバンドギャップ差を大きく取れることが判る。

【0051】

また、量子井戸活性層を圧縮歪組成としている。歪が増加すると、ヘビーホールとライトホールのバンド分離が大きくなるため利得の増加が大きくなり、低閾値化するとともに高効率化（高出力化）する。この効果は、AlGaAs／AlGaAs系850nm面発光型半導体レーザでは実現できないので、第三の構成例による提案材料系によれば、Al

GaAs/AlGaAs系850nm面発光型半導体レーザよりも低閾値・高効率化（高出力化）可能であることが判る。

#### 【0052】

さらには、キャリア閉じ込め向上、歪量子井戸活性層による高利得化によって低閾値化することで、光取り出し側DBRの反射率低減が可能となり、さらに高出力化できる。

#### 【0053】

また、量子井戸活性層は $Ga_cIn_{1-c}P_dAs_{1-d}$  ( $0 \leq c \leq 1$ ,  $0 \leq d \leq 1$ )、障壁層は $Ga_eIn_{1-e}P_fAs_{1-f}$  ( $0 \leq e \leq 1$ ,  $0 \leq f \leq 1$ )であり、Alを含んでいない材料から構成されている。即ち、Alフリー活性領域（量子井戸活性層、及びそれに隣接する層）としているので、酸素の取り込みを低減させることで非発光再結合センタの形成を抑えることができ、長寿命の面発光型半導体レーザを実現できる。

#### 【0054】

このように、第三の構成例によれば、スペーサ層の一部にAlGaInP材料、障壁層や量子井戸活性層にはGaInPAsを用いることで、活性層の利得が大きく低閾値・高出力であって、信頼性に優れた850nmより波長の短い面発光型半導体レーザを実現できる。

#### 【0055】

なお、第三の構成例では、850nmより短い波長に限定しているが、これは従来に比べて優位差が極めて大きいからであって、850nmより長い波長であっても効果が得られる。

#### 【0056】

また、第三の構成例において、障壁層を引っ張り歪を有するものとする 것도効果的である。即ち、障壁層となるGaInPAs系材料において、同一格子定数の場合はGaInPのバンドギャップが最も大きい。また、格子定数が小さい材料の方が大きなバンドギャップを取れる。これにより量子井戸活性層とのバンド不連続を大きくでき利得が大きくなるので、低閾値動作、高出力動作が可能となる。例えば、 $Ga_{0.6}In_{0.4}P$ 引っ張り歪層のバンドギャップは2.02eV、 $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 格子整合層のバンドギャップは1.87eVであり、150meV大きい。

#### 【0057】

##### (4) 第四の構成例

本実施の形態の面発光型半導体レーザは、第四の構成例として、第一ないし第三の構成例の何れにも適用可能であるが、被成長基板の面方位が、(111)A面方向に5°から20°の範囲内で傾斜した(100)面として構成されている。

#### 【0058】

Al、In、Pを含んだ材料や、GaInPの結晶成長においては、特に、基板の面方位を考慮した方が良い。特に、AlGaInPやGaInPにおいては、面方位が(111)A面方向に5°から20°の範囲内で傾斜した(100)GaAs基板が適している。(100)面に近い場合、自然超格子の形成によるバンドギャップの低下や、ヒロック（丘状欠陥）発生による表面性の悪化や非発光再結合センタの発生が生じ、半導体レーザなどのデバイス特性に悪影響を及ぼす。一方、(100)面から(111)A面方向に傾斜させると、傾斜角に応じて自然超格子の形成が抑えられる。10°から15°位まで急激に変化し、その後は徐々に正規のバンドギャップ（完全に混ざった混晶の値）に近づく。ヒロックも徐々に発生しなくなっていく。しかし、(111)A面方向の傾斜角が20°を超えると結晶成長が困難になっていく。そこで、赤色レーザ（630nmから680nm）の材料系で使われているAlGaInP材料は5°から20°（より多くの場合7°から15°）の範囲内で傾斜させた基板が一般に使われている。スペーサ層（クラッド層）であるAlGaInPはもとより、表1の例のように障壁層をGaInPとした場合も当てはまる。さらには、障壁層や量子井戸活性層がGaInPAsの場合であっても悪影響が懸念されるので、これら材料の成長には面方位が(111)A面方向に5°から20°（より望ましくは7°から15°）の範囲内で傾斜した(100)GaAs基板を用

いることが好ましい。

#### 【0059】

ちなみに、偏光方向制御については、特開2001-60739公報に、基板の面方位が(100)から(111)A面方向又は(111)B面方向に $15^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 傾斜した基板を用い、光学利得異方性を利用し、さらに圧縮歪を有するInAlGaAs、InGaAsPからなる多重量子井戸活性層を採用することで傾斜した方向の光学的利得を大きくして、偏光方向の制御をしている。また、特開2001-168461公報に示されているように、メサ形状を円形、楕円形、長円形として、長軸の方向を(100)から(111)A面方向又は(111)B面方向とする方法も示されている。基板の面方位は(100)から[110]方向に $2^{\circ}$  off ( $-5^{\circ} \sim +5^{\circ}$  含む)のものでありA面、B面方向へ傾斜した基板ではない。

#### 【0060】

この点、本実施の形態の第四の構成例における偏光角制御の手段の一つは、基板の面方位を(111)A面方向に傾斜させることによる光学利得異方性を利用するものである。しかし、現在、最有力視されている(311)B基板を用いた場合の効果を利用することができない。当該第四の構成例では(311)B基板( $25^{\circ}$ )より小さい傾斜角( $5^{\circ}$ から $20^{\circ}$ の範囲内)であるので、基板コストを抑えられることやへき開し易く扱い易く、安さを改善するものの、光学利得異方性は小さくなる。第四の構成例では、この低下分を量子井戸活性層に圧縮歪を与えることによる光学利得異方性の増大により補償することができる。

#### 【0061】

当該第四の構成例に関して、光出射方向から見た活性層の外周形状として、(111)A面方向に長い形状となる形状異方性を持たせることが効果的である。即ち、上記の偏光制御について、さらに、面発光型半導体レーザの光出射方向から見た活性層の外周形状自体に異方性を持たせ、(111)A面方向に長い形状とすることによって、傾斜角方向((111)A面方向)の光学的利得がさらに増大し、偏向角の制御性が向上する。

#### 【0062】

##### (5) 第五の構成例

本実施の形態の面発光型半導体レーザは、第五の構成例として、第三、第四の構成例に適用可能であるが、発振波長がおおよそ680nmより長波長とされている。

#### 【0063】

AlGaAs/AlGaAs系活性層による780nm面発光型半導体レーザの場合と比較する。 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 < x \leq 1$ )系スペーサ層(クラッド層)の典型的な組成範囲で最もバンドギャップが大きい $Al_xGa_{1-x}As$  ( $x=0.6$ ,  $E_g=2.0226$  eV)と、組成波長780nm ( $E_g=1.5567$  eV)の活性層とのバンドギャップ差は、 $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$  ( $0 < a \leq 1$ ,  $0 \leq b \leq 1$ )スペーサ層(クラッド層)の典型的な組成範囲で最もバンドギャップが大きい $(Al_aGa_{1-a})_bIn_{1-b}P$  ( $a=0.7$ ,  $b=0.5$ ,  $E_g=2.289$  eV)と、組成波長680nm ( $E_g=1.8233$  eV)の活性層とのバンドギャップ差(460 meV)とほぼ等しい。

#### 【0064】

また、障壁層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差については、例えば、障壁層を $Ga_eIn_{1-e}P_fAs_{1-f}$  ( $e=0.6$ ,  $f=1$ ,  $E_g=2.02$  eV)とすれば、組成波長680nmの活性層とのバンドギャップ差がおおよそ200 meVとなり、AlGaAs/AlGaAs系活性層による780nm面発光型半導体レーザの場合とほぼ同等となる。

#### 【0065】

つまり、AlGaInP系スペーサ層(クラッド層)を用いることで、組成波長が680nmより長波長であれば、Alフリー活性層(量子井戸活性層と障壁層)を用いても、AlGaAs/AlGaAs系活性層による780nm面発光型半導体レーザの場合と同

等以上のキャリア閉じ込めが可能となる、さらに、歪量子井戸活性層の効果も加わることから、同等以上の特性を得ることが可能となる。

#### 【0066】

##### 【第二の実施の形態】

本発明の第二の実施の形態を図3ないし図5に基づいて説明する。本実施の形態は、前述の第一の構成例をより具体化した構成例に関するものである。図3は、本実施の形態の面発光型半導体レーザの構造例を示す原理的断面図、図4は、その活性層周辺構造を抽出して拡大して示す断面図、図5は、その一部の平面図である。

#### 【0067】

本実施の形態における面発光型半導体レーザは、面方位が(111)A面方向に15°傾斜したn-(100)GaAs基板11上にn-Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>Asとn-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Asとを媒質内における発振波長の1/4倍の厚さで交互に例えば35周期積層した周期構造12と、その上部の1/4倍の厚さからなるn-(Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P低屈折率層(クラッド層)13とからなるn-半導体分布ブラッグ反射鏡(下部反射鏡)14が形成(図1では詳細は省略)されている。なお、周期構造12を構成するn-Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>Asとn-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Asとの間には、Al組成を一方の値から他方の値に徐々に変化させた厚さ20nmの組成傾斜層を挿入しており、傾斜層を含めて媒質内における発振波長の1/4倍の厚さとしている。これによれば、DBRに電気を流す場合、両者のバンド不連続を滑らかにすることができ、高抵抗化を抑制できる。

#### 【0068】

その上に、図4に示すように、格子整合する(A<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P下部スペーサ層15、圧縮歪組成であってバンドギャップ波長が780nmとなる3層のGaInPAs量子井戸活性層16と格子整合する4層のGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P障壁層17とからなる活性層18、及び、(A<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P上部スペーサ層19が形成されている。さらにその上に、1/4倍の厚さからなるp-(A<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P低屈折率層(クラッド層を兼ねる)20と、p-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As(x=0.9)とp-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As(x=0.3)を交互に例えば24.5周期積層した周期構造21とからなるp-半導体分布ブラッグ反射鏡(上部反射鏡)22が形成(図1では詳細は省略)されている。こちらにも同様に組成傾斜層を挿入している。最上部には、電極とコンタクトを取るp-GaAsコンタクト層23が形成されている。下部反射鏡14と上部反射鏡22の間は、発振波長の1波長分の厚さ(いわゆるラムダキャビティ)の共振器領域24とした。これらの共振器領域24と下部反射鏡14と上部反射鏡22とにより共振器構造が構成されている。

#### 【0069】

ここに、本実施の形態の面発光型半導体レーザにおいては、p-(A<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>)<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P低屈折率層(クラッド層を兼ねる)20上に形成される、AlGaAs系材料からなる上部反射鏡22を構成するp-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As(x=0.3)25との界面26(界面3に相当)を電界強度分布の節の位置としている。

#### 【0070】

ちなみに、従来は、共振器領域の最上部にAlGaInPクラッド層(スペーサ層)が設けられていた。従って、AlGaAs系材料からなる上部反射鏡との界面は腹の位置であり、光学的吸収の影響が大きい場所であった。しかしながら、Al、In、Pを主成分として含む半導体層上にAl、Ga、Asを主成分として含む半導体層を結晶成長する場合、InのキャリアオーバーなどInの分離が生じやすく、これを抑える必要があるが困難な課題であり、閾値上昇が避けるのは困難であった。

#### 【0071】

この点、本実施の形態の構成によれば、界面26を電界強度分布の節の位置させており、界面26における光学的吸収の影響が大幅に低減するように設計してあるので、Inの分離がある程度生じていても、閾値増加への悪影響を大幅に抑えることができる。



#### 【0072】

なお、本実施の形態では、構造の対称性から、下部反射鏡14の最も活性層18に近い低屈折率層も( $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ )層としたが、Inの分離の問題の改善だけであればAlGaAs系材料でも構わない。

#### 【0073】

また、本実施の形態の面発光型半導体レーザのウェハは以下のように作製される。結晶成長はMOCVDにより成長した。原料にはTMG(トリメチルガリウム)、TMA(トリメチルアルミニウム)、TMI(トリメチルインジウム)、 $\text{PH}_3$ (フォスフィン)、 $\text{AsH}_3$ (アルシン)、n型のドーパントとして $\text{H}_2\text{Se}$ を(セレン化水素)、p型のドーパントとしてDMZn又は $\text{CBr}_4$ を用いた。キャリアガスには $\text{H}_2$ を用いた。MOCVD法は組成傾斜層のような構成は原料ガス供給量を制御することで容易に形成できるのでDBRを含んだ面発光型半導体レーザの結晶成長方法として適している。また、MBE法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので量産性にも優れている。

#### 【0074】

本実施の形態では、p側DBR中で活性層18に近い低屈折率層の一部をAlAs層とした。そして、所定の大きさのメサ26を少なくともp-AlAs被選択酸化層27の側面を露出させて形成し、側面の現れたAlAsを水蒸気で側面から酸化して $\text{Al}_x\text{O}_y$ 電流狭窄層28を形成した。次に、ポリイミドでエッチング部を埋め込んで平坦化し、pコンタクト層23と光出射部29のある上部反射鏡22上のポリイミドを除去し、pコンタクト層23上の光出射部29以外にp側電極30、裏面にn側電極31を形成した。32はポリイミド絶縁膜である。

#### 【0075】

AlとAsを主成分とした被選択酸化層27の選択酸化により電流狭窄を行ったので閾値電流は低かった。被選択酸化層27を選択酸化したAl酸化膜からなる電流狭窄層28を用いた電流狭窄構造によると、電流狭窄層28を活性層18に近づけて形成することで電流の広がりを抑えられ大気に触れない微小領域に効率良くキャリアを閉じ込めることができる。さらに、酸化してAl酸化膜となることで屈折率が小さくなり凸レンズの効果でキャリアの閉じ込められた微小領域に効率良く光を閉じ込めることができ、極めて効率が良くなり、閾値電流は低減される。また、容易に電流狭窄構造を形成できることから製造コストを低減できる。

#### 【0076】

なお、面発光型半導体レーザの光出射方向から見たメサ形状を、図5に示すように、(111)A面方向に長い長楕円形状となるように異方性を持たせて形成した。これは長方形など他の形状でも良い。これにより、Al酸化膜により形成された電流注入領域の形状も(111)A面方向に長い形状となった。

#### 【0077】

本実施の形態の面発光型半導体レーザでは、活性層18に最も近い反射鏡22の低屈折率層25やスペーサ層19にAlGaInP材料、障壁層17や量子井戸活性層16にはGaInPAsを用いている。面方位が(111)A面方向に $15^\circ$ 傾斜した(100)GaAs基板11上に形成したので、自然超格子の形成によるバンドギャップの低下や、ヒロック(丘状欠陥)発生による表面性の悪化や非発光再結合センタの影響を低減できた。

#### 【0078】

また、キャリア閉じ込めのためのクラッド層(活性層18に最も近い反射鏡22の低屈折率層)25としてワイドバンドギャップである( $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ )を用いている。クラッド層25と活性層18とのバンドギャップ差は、クラッド層25をAlGaAsで形成した場合の466meV(Al組成0.6の場合)に比べて、743meVであり極めて大きい。障壁層17と活性層18とのバンドギャップ差も同様に優位差があり、良好なキャリア閉じ込めとなる。また、活性層18が圧縮歪を有しているので、ヘビー

ホールとライトホールのバンド分離により利得の増加が大きくなった。これらにより高利得となるので本実施の形態の面発光型半導体レーザは低閾値で、高出力であった。

#### 【0079】

なお、 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  低屈折率層20と活性層18との間のスペーサ層として $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$  層19を1層で形成したが、複数の半導体層で形成しても良い。また、 $\text{AlGaInP}$  低屈折率層20もや $\text{AlGaInP}$  スペーサ層19は微量に他の構成元素を含んでも構わない。

#### 【0080】

また、活性層18と障壁層17は、Alを含んでいない材料から構成されており、Alフリー活性領域（量子井戸活性層、及びそれに隣接する層）としているので、酸素の取り込みが低減することで非発光再結合センタの形成を抑えることができ、長寿命化を図れる。

#### 【0081】

また、偏向角制御については、基板11の傾斜による光学利得異方性を利用している。現在、最有力視されている(311)B基板( $25^\circ$ )を用いた場合に比べて、小さい傾斜角( $15^\circ$ )であるので光学利得異方性は小さくなる。本実施の形態では、この低下分を量子井戸活性層16に圧縮歪を与えることによる光学利得異方性の増大、及び、面発光型半導体レーザの光出射方向から見た量子井戸活性層16の外周形状に異方性を持たせ、(111)A面方向に長い形状とすることによる基板傾斜方向((111)A面方向)の光学的利得増大により補償しており、(311)B基板利用と比べて劣らない偏向角制御ができた。

#### 【0082】

このように本実施の形態によれば、活性層18の利得が大きく低閾値、高出力、優れた信頼性、偏光方向制御を、同時に満たした780nm面発光型半導体レーザを実現することができる。なお、Al、In、Pを主成分として含む半導体層20上にAl、Ga、Asを主成分として含む半導体層25を結晶成長する場合に生じるInの分離に関わる閾値上昇が生じにくいように設計しているので容易に実現できた。

#### 【0083】

なお、本実施の形態のAlフリー活性層の効果は、短波長化とともに小さくなっていくが、680nmより長波長であれば得ることができる。例えば、 $\text{AlGaAs}/\text{AlGaAs}$ 系活性層による780nm面発光型半導体レーザの場合と比較する。 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ )系スペーサ層（キャリア閉じ込めのクラッド層）の定型的な組成範囲で最もバンドギャップが大きい $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0.6$ ,  $E_g=2.022\text{ eV}$ )と、組成波長780nm ( $E_g=1.5567\text{ eV}$ )の活性層とのバンドギャップ差は、 $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_b\text{In}_{1-b}\text{P}$  ( $0 < a \leq 1$ ,  $0 \leq b \leq 1$ )スペーサ層（キャリア閉じ込めのクラッド層）の定型的な組成範囲で最もバンドギャップが大きい $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_b\text{In}_{1-b}\text{P}$  ( $a=0.7$ ,  $b=0.5$ ,  $E_g=2.289\text{ eV}$ )と、組成波長680nm ( $E_g=1.8233\text{ eV}$ )の活性層とのバンドギャップ差(460meV)とほぼ等しい。

#### 【0084】

また、障壁層と量子井戸活性層とのバンドギャップ差については、例えば、障壁層を $\text{Ga}_{1-e}\text{In}_e\text{P}_f\text{As}_{1-f}$  ( $e=0.6$ ,  $f=1$ ,  $E_g=2.02\text{ eV}$ )とすれば組成波長680nmの活性層とのバンドギャップ差がおおよそ200meVとなり $\text{AlGaAs}/\text{AlGaAs}$ 系活性層による780nm面発光型半導体レーザの場合とほぼ同等となる。

#### 【0085】

つまり、 $\text{AlGaInP}$ 系スペーサ層19を用いることで、組成波長が680nmより長波長であれば、Alフリー活性層（量子井戸活性層16と障壁層17）を用いても、 $\text{AlGaAs}/\text{AlGaAs}$ 系活性層による780nm面発光型半導体レーザの場合と同等以上のキャリア閉じ込めが可能となる、さらに、歪量子井戸活性層の効果も加わることから、同等以上の特性を得ることが可能となる。

【0086】

また、障壁層17にAlを含ませた場合は650nm帯など680nmより波長の短い赤色面発光型半導体レーザ作製が可能となる。この場合、Alフリーの効果は得られないが、前述のInの分離の問題は本実施の形態によって改善できる。

【0087】

【第三の実施の形態】

本発明の第三の実施の形態を図6に基づいて説明する。本実施の形態は、前述の第三の構成例をより具体化した構成例に関するものである。図6は、本実施の形態の面発光型半導体レーザの活性層周辺構造を抽出して拡大して示す断面図である。基本的には、前述の第二の実施の形態に準ずるものであるが、本実施の形態は、障壁層17aの材料として引っ張り歪を有するGa<sub>0.6</sub>In<sub>0.4</sub>Pとした点で異なり、他の点は第二の実施の形態(図4)の場合と同様である。

【0088】

GaInPAs系材料において、同一格子定数ではGaInPのバンドギャップが最も大きい。また、格子定数が小さい組成の方が大きなバンドギャップを取れるので、量子井戸活性層16とのバンド不連続をさらに大きくでき、利得が大きくなるので、さらに、低閾値動作、高出力動作が可能となる。例えば、本実施の形態のGa<sub>0.6</sub>In<sub>0.4</sub>P引っ張り歪障壁層17aのバンドギャップは2.02eV、第二の実施の形態のGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>P格子整合層17のバンドギャップは1.87eVであり150meV大きい。

【0089】

【第四の実施の形態】

本発明の第四の実施の形態を図7に基づいて説明する。本実施の形態は、前述したような面発光型半導体レーザを利用した面発光型半導体レーザアレイに関する。図7は本実施の形態の面発光型半導体レーザアレイの構成例を示す原理的な平面図である。

【0090】

本実施の形態の面発光型半導体レーザアレイ41は、アレイチップ基板42上に前述の各実施の形態で説明したような構成の複数個の面発光型半導体レーザ43を一行(1次元)に配列させて搭載させることにより構成されている。44は各面発光型半導体レーザ43毎に設けられた電極パッドである。ただし、本実施の形態では、面発光型半導体レーザ43に関して前述した構成例の場合とはpとnとが逆とされている。即ち、p型GaAs半導体基板上に形成されており、表面にn側個別電極、裏面にp側共通電極が形成されている。なお、面発光型半導体レーザアレイ41を構成する上で、面発光型半導体レーザ43は2次元配列であっても構わない。

【0091】

本実施の形態によれば、閾値上昇が抑えられた、高出力動作可能な面発光型半導体レーザ43を同一基板42上に多数集積することで、例えば、書き込み光学系の光源に応用した場合、同時にマルチビームでの書き込みが容易となり、書き込み速度が格段に向上し、書き込みドット密度が上昇しても印刷速度を落とすことなく印刷できる。また、同じ書き込みドット密度の場合であれば印刷速度を速くすることができる。また、光通信に応用した場合、同時に多数ビームによるデータ伝送が可能となるので高速通信ができる。さらに、面発光型半導体レーザは低消費電力で動作するので、特に機器の中に組み込んで利用した場合、温度上昇を低減させることもできる。

【0092】

【第五の実施の形態】

本発明の第五の実施の形態を図8に基づいて説明する。本実施の形態は、前述の第四の実施の形態で説明した面発光型半導体レーザアレイ41を光源として安価なアクリル系POF(プラスチック光ファイバ)51とを組み合わせた光送信モジュール52への適用例を示し、図8はその構成例を示す概要図である。

【0093】

本実施の形態の光送信モジュール52では、各面発光型半導体レーザ43からのレーザ光が対応するPOF51に入力され、伝送される。アクリル系POFは650nmに吸収損失のボトムがあり、650nmの面発光型半導体レーザが検討されているが高温特性が悪く実用にはなっていない。LEDが使われているが高速変調が困難で1Gbpsを超えた高速伝送実現のためには半導体レーザが必要である。

【0094】

本実施の形態の面発光型半導体レーザ43の波長は780nmであるが、活性層利得が大きいので高出力であるとともに高温特性にも優れており、ファイバの吸収損失は大きくなるが短距離であれば伝送可能である。

【0095】

光通信の分野では、同時により多くのデータを伝送するために複数の半導体レーザが集積したレーザアレイを用いた並列伝送が試みられている。これにより高速な並列伝送が可能となり従来よりも多くのデータを同時に伝送出きようになった。

【0096】

本実施の形態では、面発光型半導体レーザ43と光ファイバ51とは1対1に対応させたが、発振波長の異なる複数の面発光型半導体レーザ素子を1次元又は2次元にアレイ状に配置して、波長多重送信することにより伝送速度をさらに増大することが可能となる。

【0097】

さらに、本発明による安価な面発光型半導体レーザアレイ41と安価なPOF51とを組み合わせたので、これを光通信システムに用いると、低コストな光送信モジュール52を実現できる他、これを用いた低コスト光通信システムを実現できる。極めて低コストであることから家庭用、オフィスの室内用、機器内用等の短距離のデータ通信に有効である。

【0098】

【第六の実施の形態】

本発明の第六の実施の形態を図9に基づいて説明する。本実施の形態は、前述したような面発光型半導体レーザ43を光源とし、受信用フォトダイオード61を受光素子とし、アクリル系POF62と組み合わせた光送受信モジュール63への適用例を示し、図9はこの光送受信モジュール63の構成例を示す概要図である。

【0099】

前述したような面発光型半導体レーザ43を光通信システムに用いる場合、面発光型半導体レーザ43とPOF62は低コストであるので、図9に示すように送信用の面発光型半導体レーザ43と、受信用フォトダイオード61と、POF62とを組み合わせた光送受信モジュール63を用いた低コストの光通信システムを実現できる。また、POF62はファイバの径が大きくてファイバとのカップリングが容易で実装コストを低減できることから、極めて低コストのモジュールを実現できる。また、本実施の形態に係る面発光型半導体レーザ43の場合、温度特性が良いこと、及び、低閾値であることにより、発熱が少なく、高温まで冷却なしで使えるより低コストのシステムを実現できる。

【0100】

本実施の形態に係る面発光型半導体レーザ43を用いた光通信システムとしては、光ファイバを用いた、LAN (Local Area Network) などのコンピュータ等の機器間伝送、さらには機器内のボード間データ伝送、ボード内のLSI間、LSI内の素子間等、光インタコネクションとして特に短距離通信に用いることができる。

【0101】

近年LSI等の処理性能は向上しているが、これらを接続する部分の伝送速度が今後ボトルネックとなる。システム内の信号接続を従来の電気接続から光インターコネクトに変えると、例えばコンピュータシステムのボード間、ボード内のLSI間、LSI内の素子間等を本発明に係る光送信モジュール52や光送受信モジュール63を用いて接続すると、超高速コンピュータシステムが可能となる。

【0102】

また、複数のコンピュータシステム等を本発明に係る光送信モジュール52や光送受信モジュール63を用いて接続した場合、超高速ネットワークシステムが構築できる。特に、面発光型半導体レーザ43は端面発光型レーザに比べて桁違いに低消費電力化でき、2次元アレイ化が容易なので、並列伝送型の光通信システムに適している。

#### 【0103】

##### 【第七の実施の形態】

本発明の第七の実施の形態を図10及び図11に基づいて説明する。本実施の形態は、前述の第四の実施の形態に準ずる2次元の面発光型半導体レーザアレイ71を書き込み用光源とし用いた画像形成装置、例えば、レーザプリンタへの適用例を示す。図10は当該レーザプリンタの光走査書き込み部を中心に示す概略的な平面図、図11はその面発光型半導体レーザアレイ71の構成例を示す原理的な正面図である。

#### 【0104】

本実施の形態のレーザプリンタでは、面発光型半導体レーザアレイ71からの複数のビームを、レンズ72、走査用ポリゴンミラー73、f $\theta$ レンズ74等からなる同じ光学系を用い走査用ポリゴンミラー73を高速回転させるとともに、ドット位置を点灯のタイミングを調整して副走査方向に分離した複数の光スポットとして被走査面である感光体75上に集光して一度に複数のビームを走査させる構成例とされている。

#### 【0105】

ここに、本実施の形態の面発光型半導体レーザアレイ71は、例えば図11に示すように使用波長780nmの面発光型半導体レーザ43を40 $\mu$ m間隔で副走査方向に10 $\mu$ mずつの重なりを持たせて4 $\times$ 4の2次元にチップ基板42上に配置させたものであり、点灯のタイミングを調整することで感光体75上では図のように副走査方向に10 $\mu$ m間隔で光源が並んでいる場合と同様な構成と捉えることができる。

#### 【0106】

本実施の形態によれば、副走査方向に約10 $\mu$ m間隔で感光体75上に書き込み可能であり、2400DPI（ドット／インチ）に相当する。主走査方向の書き込み間隔は、光源43の点灯のタイミングで容易に制御できる。16ドットを同時に書き込み可能であり、高速印刷できた。アレイ数を増加させることでさらに高速印刷可能である。また、面発光型半導体レーザ43の素子間隔を調整することで副走査方向の間隔を調整でき、2400DPIよりも高密度にすることができ、より高品質の印刷が可能となる。本実施の形態による面発光型半導体レーザ43は従来の面発光型半導体レーザよりも高出力化されているので印刷速度を従来よりも速くすることができた。

#### 【0107】

なお、本実施の形態では面発光型半導体レーザアレイ71（或いは、面発光型半導体レーザ43）のレーザプリンタへの応用例を示したが、光ピックアップ（図示せず）に搭載させることでCD等の記録、再生用光源としても用いることができる。

##### 【図面の簡単な説明】

#### 【0108】

【図1】 本発明の第一の実施の形態中の第一の構成例の要部を示す原理的断面図である。

【図2】 本発明の第一の実施の形態中の第二の構成例の要部を示す原理的断面図である。

【図3】 本発明の第二の実施の形態の構成例を示す原理的断面図である。

【図4】 その活性層周辺構造を抽出して拡大して示す断面図である。

【図5】 その一部の平面図である。

【図6】 本発明の第三の実施の形態の活性層周辺構造を抽出して拡大して示す断面図である。

【図7】 本発明の第四の実施の形態の面発光型半導体レーザアレイの構成例を示す原理的な平面図である。

【図8】 本発明の第五の実施の形態の光送信モジュールの構成例を示す概要図である。

【図 9】 本発明の第六の実施の形態の光送受信モジュールの構成例を示す概要図である。

【図 10】 本発明の第七の実施の形態のレーザプリンタの光走査書き込み部を中心に示す概略的な平面図である。

【図 11】 その面発光型半導体レーザアレイの構成例を示す原理的な正面図である。

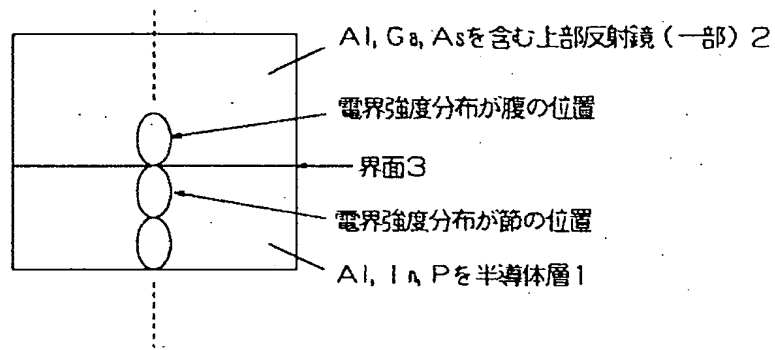
【符号の説明】

【0109】

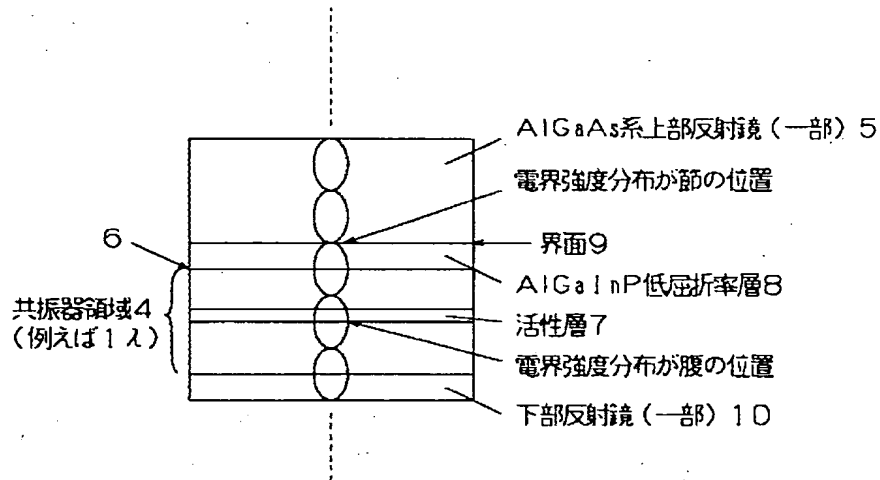
- |    |                       |
|----|-----------------------|
| 1  | Al、In、Pを主成分として含む半導体層  |
| 2  | Al、Ga、Asを主成分として含む半導体層 |
| 3  | 界面                    |
| 4  | 共振器領域                 |
| 5  | 上部反射鏡                 |
| 7  | 活性層                   |
| 8  | 低屈折率層                 |
| 9  | 界面                    |
| 11 | 基板                    |
| 13 | 低屈折率層                 |
| 14 | 下部反射鏡                 |
| 15 | スペーサ層                 |
| 16 | 量子井戸活性層               |
| 17 | 障壁層                   |
| 18 | 活性層                   |
| 19 | スペーサ層                 |
| 20 | 半導体層、低屈折率層            |
| 22 | 上部反射鏡                 |
| 24 | 共振器領域                 |
| 25 | 半導体層                  |
| 26 | 界面                    |
| 41 | 面発光型半導体レーザアレイ         |
| 43 | 面発光型半導体レーザ            |

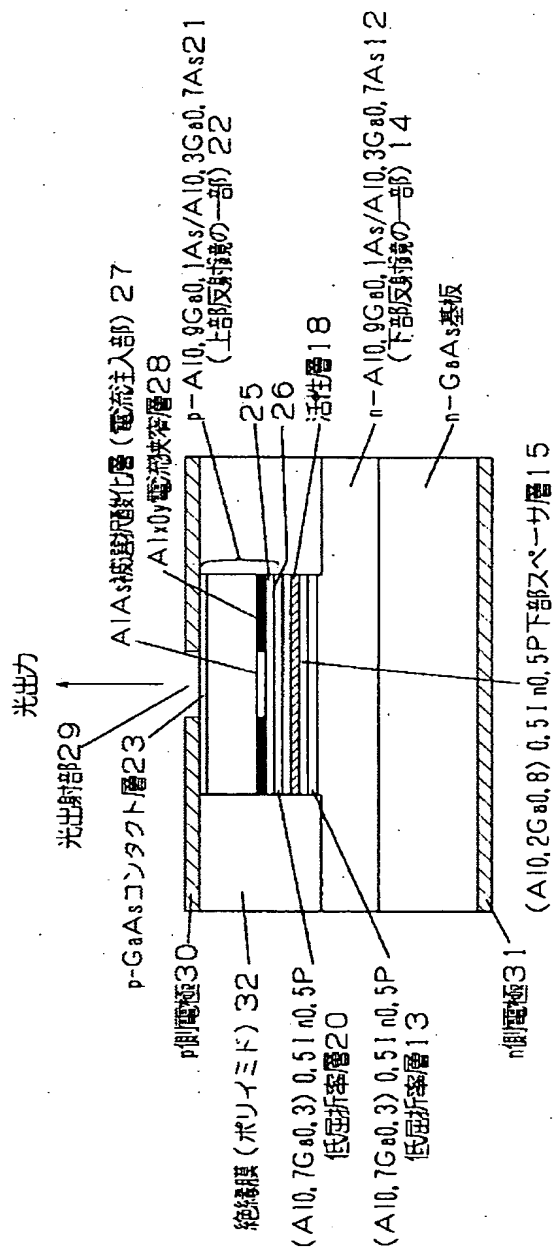
【書類名】 図面

【図 1】



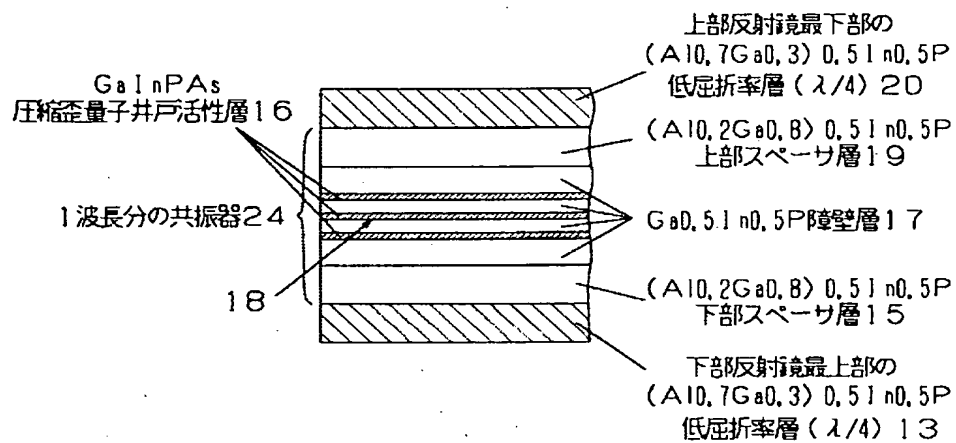
【図 2】



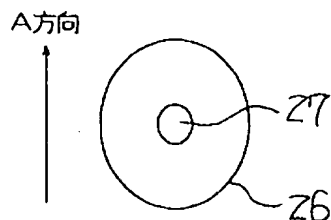




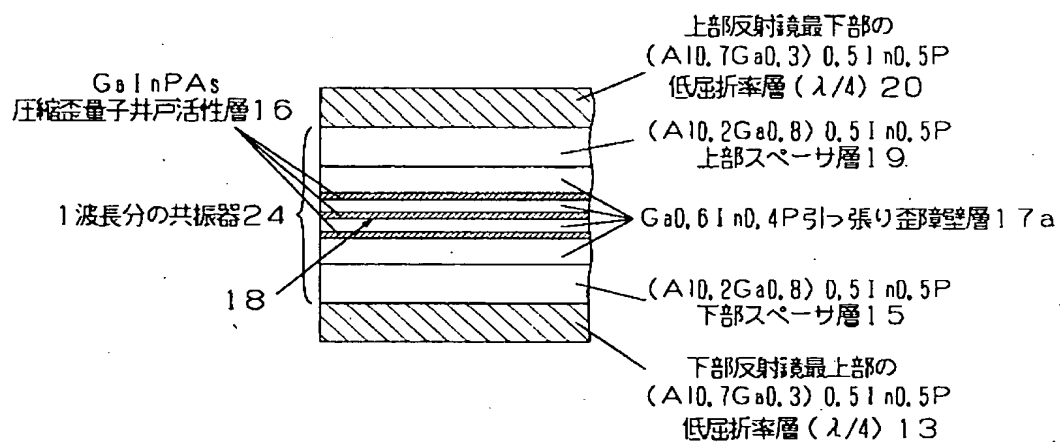
【図 4】



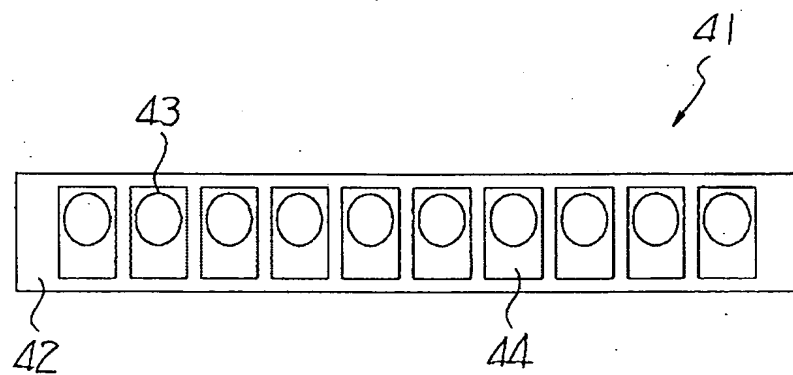
【図 5】



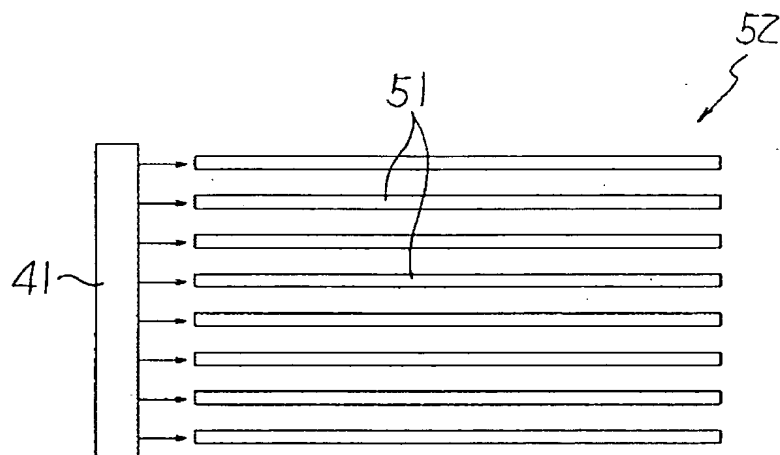
【図 6】



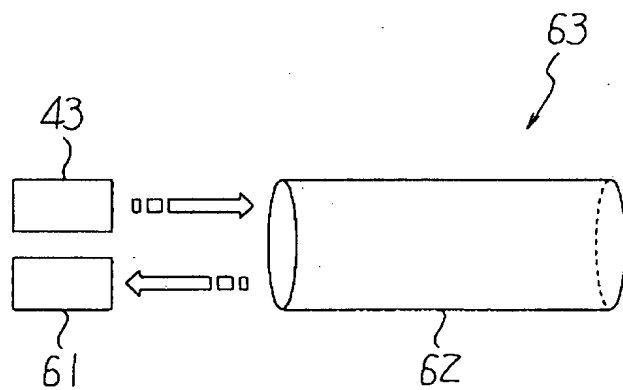
【図 7】



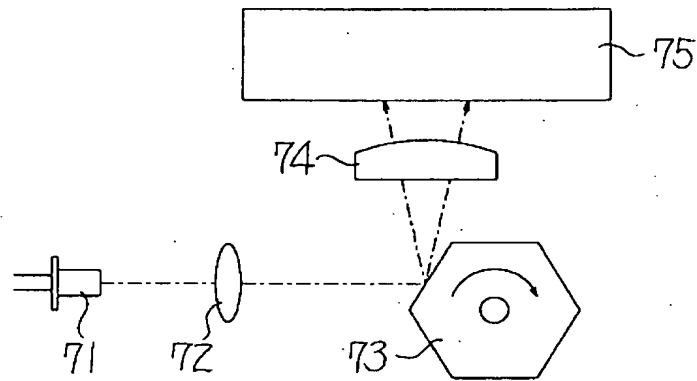
【図 8】



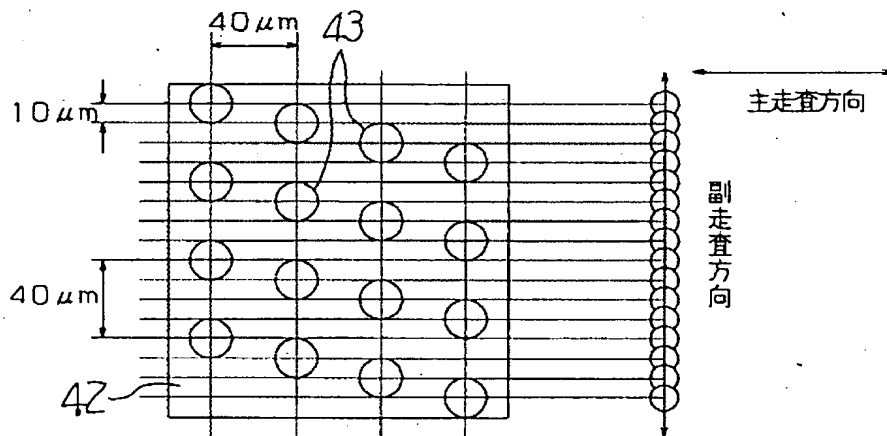
【図 9】



【図10】



【図11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 GaAs 基板上に Al、In、P を主成分として含む半導体層が少なくとも 1 層設けられている面発光型半導体レーザにおいて、In の分離の影響による閾値電流増加を抑制できる面発光型半導体レーザを提供する。

【解決手段】 Al、In、P を主成分として含む半導体層 1 と Al、Ga、As を主成分として含む半導体層 2 との界面 3 を電界強度分布の節の位置とすることによって、Al、In、P を主成分として含む半導体層 1 の上に Al、Ga、As を主成分として含む半導体層 2 を結晶成長したときに、In の分離がある程度生じていても界面における光学的吸収の影響を大幅に低減させることができ、よって、閾値増加への悪影響を大幅に抑えることが容易に実現できるようにした。

【選択図】 図 1

出願人履歴

000006747

20020517

住所変更

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー